

11.7 Alnico- vs. Keramikmagnet

Alnico ist für Gitarristen ein Wort aus dem innersten Zirkel der Magie. Tonabnehmer? Nur mit Alnico-Magneten. Lautsprecher? Ebenso! Weil Keramik-Magnete "nicht richtig klingen". Sagte irgendwann einmal ein erleuchteter Schamane, und seither wiederholen es seine Anhänger rund um die Welt. Der **Celestion blue**, "*the world's first dedicated guitar loudspeaker*", hatte – natürlich – einen Alnico-Magnet. Das war man sich als Hersteller schuldig, der "*the finest guitar loudspeakers that money can buy*" herstellt. Setzt man aber die rosarote Brille des Werbetexters ab und geht zum Labor des Metallurgen, wird's weniger euphemistisch: Alnico-Magnete waren der Industrie-Standard, um starke Magnetfelder zu erzeugen. Bis 1910 wurden Kohlenstoffstahl-Magnete hergestellt [21], ab 1917 gab's Kobaltstahl-Magnete, und ab Mitte der 30er-Jahre kommen Magnet-Legierungen auf den Markt, die neben Eisen noch Aluminium (Al), Nickel (Ni) und Kobalt (Co) enthalten: AlNiCo-Magnete. In einer Vielzahl von Zusammensetzungen, mit Ziffern und Buchstaben gekennzeichnet, und wenn's noch genauer sein soll, mit Rezept: 8% Al, 14% Ni, 24% Co, 3% Cu, Rest Fe. Die Wirkung eines Magneten erschließt sich aber nicht alleine aus der Zusammensetzung seiner Legierungskomponenten – der kristalline Aufbau macht's. Denn auch wenn Alnico 5 draufsteht, kann trotzdem Unterschiedliches passieren. Deshalb Untergruppen, wie z.B. Alnico 5-A, oder 5-B, oder 5-C, 5-7, 5-BDG, 5-ABDG, oder wie sie alle heißen mögen. Die Vermutung, es gäbe da ein Magnetmaterial namens Alnico 5, das den guten "Vintage-Sound" erzeugt, ist ein Märchen. Es gibt stattdessen eine Vielzahl von Alnico-5-Materialien mit ziemlich unterschiedlichen Kennlinien. Und nicht zu vergessen: Aus Wettbewerbsgründen gab's ja auch noch Ticonal, Nialco, und Coalnimax. Alle diese Materialien haben sehr hohe Remanenz-Flussdichten von 1.2 – 1.35 T, und eignen sich deshalb bestens für Lautsprecher. Als Begleiterscheinung von WW-II entstanden jedoch Lieferengpässe, Restriktionen bei "Kriegsmetallen" mit zugehörigen Preisexplosionen, und so waren die Hersteller glücklich, als preiswerte **Keramik-Magnete** als Ersatz angeboten wurden. Nicht ganz so glücklich waren die Gitarristen, denn "Keramik erreicht nicht den Klang von Alnico". Nun denn, was unterscheidet Alnico-Magnete von ihren Keramik-Epigonen?

Gleiches Volumen vorausgesetzt, sind Alnico-Magnete "stärker" als Keramik-Magnete. Was aber kein K.-o.-Kriterium darstellt, sondern nur das Gewicht der Keramik-Lautsprecher in die Höhe treibt. Die Flussdichte im Luftspalt wird nicht durch den Magnet limitiert (den kann man fast beliebig groß machen), sondern durch die Sättigung der feldführenden Polplatten. Wenn man berücksichtigt, dass Alnico-Magnete länglich und Keramik-Magnete scheibenförmig sein müssen, um im optimalen Arbeitspunkt zu arbeiten, kann man mit beiden Materialien gleich hohe Flussdichten (und Flüsse) erreichen. Allerdings wird den ersten mit Keramik-Magneten bestückten Lautsprechern nachgesagt, dass eben diese Flussdichte zurück ging, sobald sich der Magnet im Betrieb erwärmte. Zunächst nimmt die Flussdichte mit fast 0.2% pro °C ab, und je nach Material erreicht man schon bei 100°C die maximal erlaubte Temperatur. Papier-Schwingspulenträger durften ja auch nicht viel heißer werden, aber mit dem Einsatz hochtemperaturfester Materialien (Nomex, Kapton, Glasfaser) stieg die Spulen-Grenztemperatur auf über 250°C – schon vorstellbar, dass da einige Keramik-Magnete Probleme bekamen. Jedoch sind diese Schwierigkeiten weitgehend überwunden, inzwischen stellt die Industrie Keramik-Magnete her, die lautsprechertypische Temperaturen aushalten. Die in der Schwingspule erzeugte Wärme fließt ja auch nicht direkt und zur Gänze in das Magnetmaterial, und deshalb wird der Magnet auch nicht ganz so heiß wie die Schwingspule. Und im Übrigen: Der Hauptvorwurf an die Keramikfraktion ist auch gar nicht mehr fehlendes Standvermögen, sondern ein irgendwie geartetes Klangdefizit. Alnico klingt "vintage", und damit gut. Vintage ist mehr Höhen, oder (je nach Quelle) auch weniger Höhen, egal: Einfach besser.

Eminence, the world's largest loudspeaker manufacturing company, with the finest voice coils in the industry, erklärt den Alnico-Klang als: "warm, bluesy tone". **Jensen** hingegen, the inventor of the loudspeaker, sieht als Alnico-Charakteristikum "their sparkling trebles". **JBL**, der führende Lautsprecherhersteller der Welt, definiert Alnico über "it's low distortion performance", **Jensen** hingegen über "their dirty midrange". Alnico, da ist für jeden was dabei.

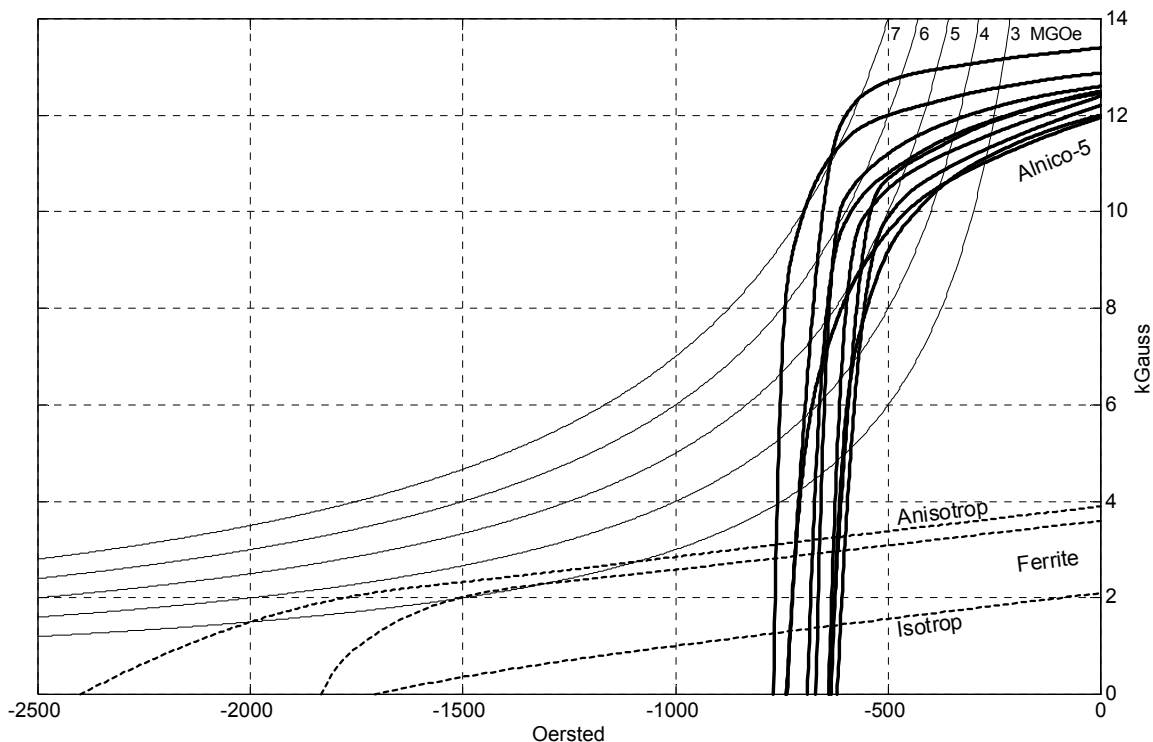


Abb. 11.75: B/H-Kennlinien verschiedener Alnico-5-Magnete [22, 23]. $1\text{Oe} = 80\text{A/m}$, $10\text{kG} = 1\text{T}$.

In **Abb. 11.75** sind die Hysteresekurven verschiedener Alnico-5-Materialien im Vergleich zu drei Keramik-Magnetmaterialien dargestellt. Die Remanenz-Flussdichte üblicher Alnico-5-Magnete ist knapp viermal so groß wie die anisotroper Keramikmagnete – dafür ist deren Koerzitiv-Feldstärke ca. dreimal größer als die der Alnico-5-Magnete. Wobei nochmals betont werden muss: Es gibt weder *den* Alnico-5-Magnet, noch *den* Keramikmagnet, und Remanenz- bzw. Koerzitivdaten lassen auch nur ungefähre Rückschlüsse auf den Arbeitspunkt zu. Die grundsätzlichen Unterschiede der beiden Materialgruppen soll ein **Vergleich** verdeutlichen: Eine 100-W-Lampe (10V, 10A) soll zum Leuchten gebracht werden; dafür stehen Batterien mit 1V/10A und 10V/1A zur Verfügung. Ob man nun von den 10-V-Batterien 10 parallel schaltet, oder von den 1-V-Batterien 10 in Reihe, ist im ersten Ansatz egal – beide Varianten ermöglichen 10V/10A. Was aber nicht heißt, dass damit keinerlei Unterschiede mehr möglich sind: Die 10-V-Batterien könnten ja im Einkauf etwas teurer sein, oder größer, oder aus einem Land kommen, zu dem man (trotz unglaublicher sportlicher Erfolge) vorübergehend keine Wirtschaftsbeziehungen aufrecht erhalten möchte – wie auch immer, die normative Macht des Faktischen wird dafür sorgen, dass die 1-V-Batterien zum Zuge kommen. Ein kluger Kaufmann wird aber auch den 10-V-Batterien eine Chance einräumen, und z.B. die Herkunft ihrer Energie als "direkt von der Sonne" bewerben (Öko brummt), und von dem leider 50% höheren Verkaufspreis 0,5% dem eigentlich ungeliebten Land zurückgeben. Mit der zwingenden Auflage, davon einen deutschen Kindergarten zu finanzieren (Sozialkompetenz). Mit dieser Diversifikation vergrößert sich der Marktanteil, der Bonus, der Dienstwagen, und die Welt wird um einen Kindergarten reicher.

Auf Lautsprecher übertragen: Die volumenspezifische Magnetfeldenergie (Energiedichte) w entspricht dem halben Produkt von Flussdichte B und Feldstärke H . Alnico ermöglicht größere B -Werte als Keramik, erreicht aber nicht dessen hohe Feldstärke. Zum Ausgleich müssen Alnico-Magnete lang und schlank, Keramik-Magnete kurz und dick sein. Also Reihenschaltung vs. Parallelschaltung. Mit beiden Magnetmaterialien lässt sich die geforderte spezifische Magnetfeldenergie realisieren: Keramik ist der Standard, Alnico der Kindergarten.

Wieso ist eigentlich das **BH-Produkt** eines Magnetmaterials so wichtig, wo doch in der Wandlerkonstante nur B , nicht aber H steht? Es stimmt schon, die Lorentzkraft hängt außer von der Drahtlänge nur von der Flussdichte B ab. Nun ist aber in Luft (daher der Name Luftspalt) die Flussdichte über μ_0 mit H verknüpft, sodass zu einem speziellen B zwangsläufig ein ebenso spezielles H gehört. Dass sich in diesem Luftspalt nicht nur diese, sondern auch eine Cu- oder Al-Wicklung befindet, ändert daran praktisch nichts, denn diese Metalle sind nicht ferromagnetisch. Das Produkt aus Luftspalt-Feldstärke und Luftspalt-Flussdichte entspricht gerade der doppelten **Energiedichte** w_L des Luftspaltfeldes, die über das Luftspaltvolumen V_L die Luftspaltenergie $W_L = w_L \cdot V_L$ ergibt. Diese Energie muss der Magnet zur Verfügung stellen, und dabei gilt für den idealen Magnetkreis: $W_L = w_L \cdot V_L = W_M = w_M \cdot V_M$. Oder in Worten: Magnetenergie = Luftspaltenergie. Im Magnet gilt: $w_M = 0.5 \cdot B_M \cdot H_M$, und deshalb muss für ein kleines Magnetvolumen (bzw. -gewicht) das **BH-Produkt** des Magneten möglichst groß sein. Als **Beispiel**: Für einen Luftspalt mit 10 cm^2 Fläche und 1 mm Weite ergibt sich ein Luftspaltvolumen von 1 cm^3 . Für $B = 1.5 \text{ T}$ beträgt die Luftspaltenergie $0.9 \text{ J} = 0.9 \text{ Js}$. Dieser Wert hat nicht direkt mit der zu erzeugenden Schallleistung zu tun – das Magnetfeld könnte man sich als eine Art Katalysator vorstellen, der nötig ist, aber selbst nicht verbraucht wird. Die abgestrahlte Schallenergie kommt nicht vom Magnetfeld, sondern aus der zugeführten elektrischen Energie (des Leistungsverstärkers). Nimmt man das den Magnet kennzeichnende **BH-Produkt** zu 45 kJ/m^3 an (für Alnico-5 nicht untypisch), ergibt sich ein Magnetvolumen von 40 cm^3 , bzw. eine Magnetmasse von 286 g. Ein Ferritmagnet, der nur $BH_{\max} = 22 \text{ kJ/m}^3$ zustande bringt, bräuchte 81 cm^3 bzw. 390 g. Bei idealem, d.h. verlustfreiem Magnetkreis. Da diese Idealisierung aber auch nicht annähernd praxisnah ist, muss der Magnet größer sein: Für Alnico 2 – 3 mal so groß, für Ferrit 3 – 4 mal so groß. Oder noch größer, je nach individueller Realisierung. Keramik-Magnete sind somit (bei vergleichbarer Luftspaltenergie) größer und schwerer als Alnico-Magnete, Klang- und Wirkungsgrad-Unterschiede lassen sich damit aber noch nicht begründen.

Die Luftspaltenergie ist aber erst ein Parameter im elektroakustischen Wandlungsprozess. Wie schon Abb. 11.1 gezeigt hat, bedingt die materialspezifische **Magnetform** (lang/dünn gegenüber kurz/dick) verschiedenartige Magnetkreis-Geometrien, und aus dieser unterschiedlichen Form könnten im dynamischen Betrieb (bei Stromfluss bzw. Auslenkung) zwei verschiedenartige Verhaltensweisen resultieren. Es reicht also nicht, nur die statischen Luftspalt-Größen zu betrachten – die Membran soll sich ja bewegen. Und tatsächlich gibt es einen dynamischen Magnetparameter, der Unterschiede zeigt: Die sog. **permanente Permeabilität**. Hiermit wird beim Dauermagnet das B/H -Verhältnis für kleine Arbeitspunktverschiebungen charakterisiert. Bei einer durch Stromfluss aufgezwungenen Feldänderung bewegt sich der Arbeitspunkt nämlich nicht auf der Hysterese-Grenzkurve, sondern mit flacherer Steigung innerhalb. Die Steigung, das ist die permanente Permeabilität, auch reversible Permeabilität genannt. Für Alnico-5 ergibt sich hier ca. 5, für Keramik ca. 1. Diese Kennzahlen sind relative Permeabilitäten, man könnte also auch sagen: Für *kleine Feldänderungen* verhält sich der Keramikmagnet wie Luft, der Alnico-Magnet ist hingegen schon merklich ferromagnetisch. Global gesehen (für große Feldänderungen) sind natürlich beide Magnete ferromagnetisch, bei differentieller Betrachtung ergeben sich aber materialspezifische Unterschiede.

Es reicht aber nicht, einfach nur einen differentiellen Magnetparameter (die permanente Permeabilität) zu betrachten und allein daraus Unterschiede im Betriebsverhalten zu prognostizieren. Im jeweiligen Arbeitspunkt unterscheiden sich nicht nur die Steigungen der Hysterese-Kennlinien, sondern auch die Koordinatenwerte. Und weil beim Keramik-Magnet B kleiner und H größer ist als beim Alnico-Magnet, muss über eine Flächenreduktion eine Art Transformation erfolgen: Vom dicken Magnetquerschnitt zum demgegenüber kleinen Luftspaltquerschnitt. Diese **Transformation** passt aber nicht nur B und H entsprechend an, sondern auch die Steigung der Hysterese, sodass sich die effektiven permanenten Permeabilitäten einander annähern. Ob sie tatsächlich gleich werden, oder ob doch noch Unterschiede bestehen bleiben, hängt dann von der individuellen Konstruktion ab, und vom alles entscheidenden Streufluss.

Die Parametervariationen, die bei eher kleinen konstruktiven Änderungen (bei beiden Magnet-Materialien!) entstehen können, sind so erheblich, dass es keinen Sinn macht, pauschal über typspezifische Besonderheiten zu spekulieren. Stattdessen sollen **Messungen** typische Unterschiede – so sie denn vorhanden sind – offenbaren. Eine einfach zu messende Größe, die bereits Auskunft über differentielle Feldänderungen geben kann, ist die elektrische Impedanz, deren hochfrequenter Anstieg von der Lautsprecher-**Induktivität**, und damit vom Magnetfeld bestimmt wird. In **Abb. 11.76** sind Impedanzfrequenzgänge verschiedener 12"-Lautsprecher dargestellt. Im linken Bild zeigen sich nur geringe Unterschiede, obwohl hier zwei Lautsprecher vermessen wurden, deren Magnete sich unterscheiden (Celestion "blue" vs. G12-H). Für das rechte Bild wurden hingegen drei Alnico-Lautsprecher analysiert – und gerade hier sind die Unterschiede deutlich. Fazit: Eine spezielle "Alnico-Impedanz" gibt es nicht.

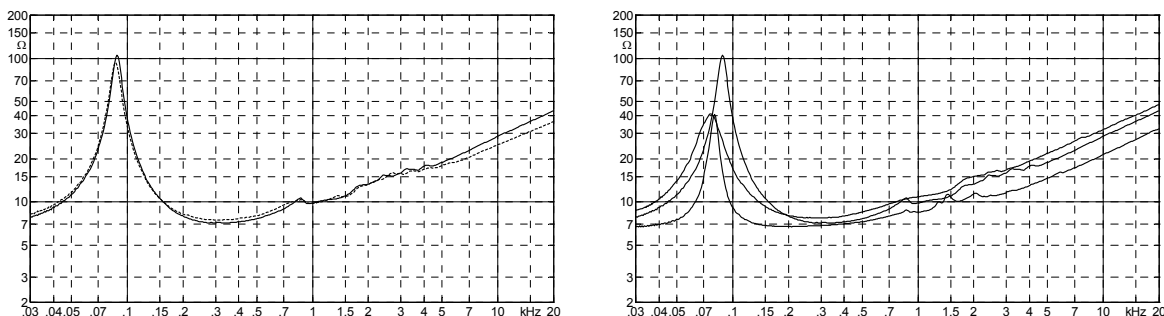


Abb. 11.76: Impedanzfrequenzgänge verschiedener nicht eingebauter 12"-Lautsprecher. Links: Alnico (—) vs. Keramik (----). Rechts: Drei verschiedene Alnico-Lautsprecher (Celestion "blue", Jensen P12-R, P12-N).

Allerdings offenbaren Impedanzmessungen nur eine Kleinsignal-Eigenschaft. Lautsprecher arbeiten aber zumeist im Großsignalbetrieb, mit hohen Strömen, nahe ihrer Belastungsgrenze. Wie schon Kap. 11.6 gezeigt hat, treten dabei mehrere nichtlineare Prozesse in den Vordergrund: Die Schwingspule dringt in die Randbereiche des Magnetfeldes vor, wodurch die Wandlerkonstante (der Kraftfaktor) auslenkungsabhängig wird, die Membransteifigkeit wird ebenfalls auslenkungsabhängig, und auch bei der Induktivität machen sich Nichtlinearitäten bemerkbar. Gut möglich, dass in der spezifischen Nichtlinearität das Geheimnis der teuer erkaufte Alnicos liegt, dass ihr **Klirrfaktor** magnettypische Besonderheiten zeigt. Nichtlinearitäten der Membran sollte man allerdings nicht dem Magnet anlasten – wie eine Zentrierung (Spinne bzw. Spider) mit zunehmender Auslenkung progressiv steifer wird, hat nun wirklich nichts mit dem Magnetmaterial zu tun. Die auslenkungsabhängige Induktivität hingegen schon, und die signalabhängige Wandlerkonstante auch. Diese beiden Nichtlinearitäten haben ihre Ursache im die Schwingspule durchdringenden Magnetfeld, und da dieses auslenkungsabhängig ist, wird die Wandlerkonstante signalabhängig. Der Teil der elektrischen Impedanz, der von der Mechanik stammt (alles außer dem Cu-Widerstand), wird folglich nichtlinear.

Eine nichtlineare Impedanz kann man messen, indem man entweder den Strom sinusförmig einprägt und die Spannung misst, oder die Spannung sinusförmig einprägt und den Strom misst. Beide Messprinzipien führen zu unterschiedlichen Ergebnissen, bei nichtlinearen Systemen gibt es keine Proportionalität mehr. Für die folgenden Messungen wurde die Spannung eingepreßt. Zumeist 10 V_{eff} , was einen $8\text{-}\Omega$ -Lautsprecher mit nominell 12.5 W belastet. Die Lautsprecher waren zu dieser Messung nicht eingebaut, wodurch ihre Membranauslenkung größere Werte erreichte als bei Einbau in ein Gehäuse. Analysiert wurde der Klirrfaktor des Lautsprecherstroms, insbesondere die quadratische und kubische Verzerrung, dargestellt als Klirrdämpfung a_{k2} bzw. a_{k3} (Abb. 11.77). $60\text{ dB} \hat{=} 0.1\%$, $40\text{ dB} \hat{=} 1\%$, $20\text{ dB} \hat{=} 10\%$.

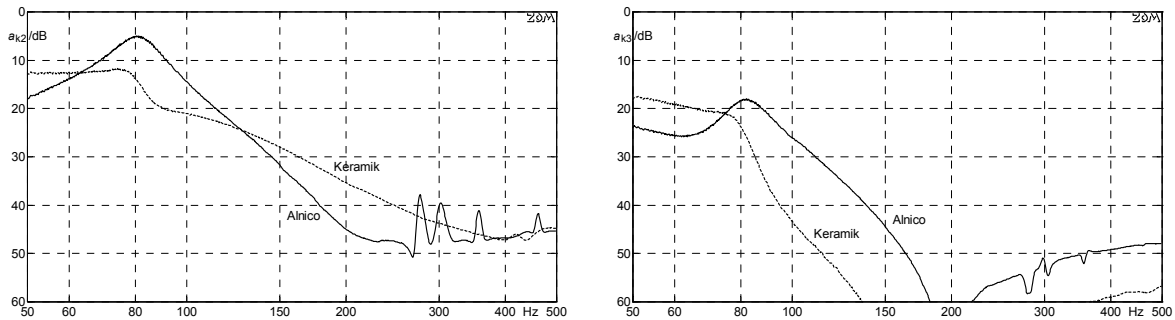


Abb. 11.77: Nichtlineare Verzerrungen des Lautsprecherstroms bei sinusförmiger Spannungseinprägung (10V). Alnico = Celestion "blue", Keramik = Celestion G12-H.

In dieser Abbildung werden signifikante Unterschiede deutlich: Die quadratischen Klirrfaktoren unterscheiden sich um den Faktor drei, die kubischen Klirrfaktoren sogar bis zum Faktor zehn! Die quadratischen Verzerrungen dominieren generell gegenüber den kubischen, ihre Frequenzabhängigkeit unterscheidet sich aber lautsprecherspezifisch. Im Bereich um die Hauptresonanz (80 Hz) verzerrt der Alnico-Lautsprecher mehr als der Keramik-Lautsprecher, bei höheren Frequenzen sollte man die Unterschiede allerdings mit Vorsicht bewerten, und auch die in aller Regel erheblichen Verzerrungen des Gitarrenverstärkers mit berücksichtigen.

Von den in Abb. 11.77 dargestellten Messungen ist es nur mehr ein kleiner Schritt zu Aussagen wie: **Alnico-Lautsprecher verzerren mehr als Keramik-Lautsprecher**. Was in dieser Strenge aber gar nicht stimmt, denn über 125 Hz überwiegen die quadratischen Verzerrungen ja beim Keramik-Lautsprecher. Doch wie soll man aus diesen Daten eine griffige "Take-Home-Message" formen? Am besten gar nicht – der Vergleich zweier Lautsprecher stellt ja noch keine signifikante Stichprobe dar. Abb. 11.78 bietet ergänzende Analysen: Einen Jensen P12-N (Alnico), und einen Jensen C12-N (Keramik). Und plötzlich kehren sich die Ergebnisse um, nun ist der k_2 des Alnico-Lautsprechers kleiner als der des Keramik-Lautsprechers.

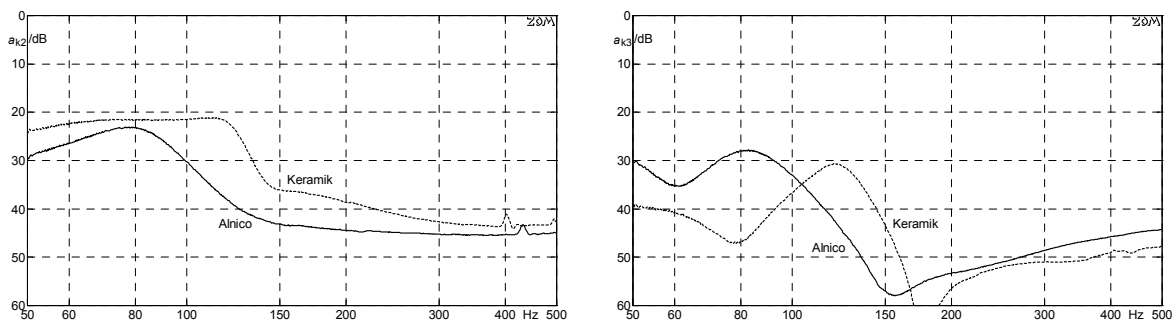


Abb. 11.78: Nichtlineare Verzerrungen des Lautsprecherstroms bei sinusförmiger Spannungseinprägung (10V). Alnico = Jensen P12-N, Keramik = Jensen C12-N.

Die beiden **Jensen-Lautsprecher** (Abb. 11.78) stellen eigentlich ein ideales Paar dar: Beide sind vom selben Hersteller, beide haben einen 12" Korb-Durchmesser, beide spielen in derselben Leistungsklasse (50 W, 1,5"-Schwingspule) – lediglich im Magnetmaterial gibt's Unterschiede: Keramik (C12-N) vs. Alnico (P12-N). Nun gut, auch der Preis ist unterschiedlich, das teure Kobalt, wir verstehen. Was einige aber nicht verstehen: Warum unterscheiden sich auch die Resonanzfrequenzen dieser beiden (zum selben Zeitpunkt gekauften) Lautsprecher? Immerhin um 56%, nämlich 120 Hz (C12-N) gegenüber 77 Hz (P12-N). Und sage keiner, der Magnetwechsel würde die Resonanz verstimmen, dazu braucht die Mechanik kein Magnetfeld: Zumindest die Membransteifigkeiten sind sehr unterschiedlich, wie ein einfacher Fingerdruck bestätigt. Da steckt nicht nur ein anderer Magnet drin, das sind zwei ganz unterschiedliche Membranen! Man kann sich vorstellen, welche "Weisheiten" entstehen, wenn Musiker nach einem Vergleich dieser beiden Lautsprecher Erkenntnisse zum Alnico-Sound ins Internet stellen. Es gibt zweifelsohne typspezifische Unterschiede im nichtlinearen Verhalten der Lautsprecher, aus diesen lässt sich aber kein Alnico-spezifisches Charakteristikum ableiten.

Als Gegenbeispiel möge ein Vergleich zweier **Celestion-Lautsprecher** dienen: Vintage-30 (Keramik-Magnet) gegen Celestion "blue" (Alnico-Magnet). **Abb. 11.79** zeigt hierzu die Verzerrungsanalysen. Bis 250 Hz erkennt man beim k_2 eigentlich nur eine leicht unterschiedliche Resonanzfrequenz, im darüber liegenden Frequenzbereich sieht man die Auswirkungen von Partialschwingungsmoden. Beim k_3 sind die Unterschiede etwas größer, aber keinesfalls als Charakteristikum einzuordnen. Besonders interessant: In der zweiten Bildzeile werden Alnico-Lautsprecher miteinander verglichen: Zwei zum selben Zeitpunkt gekaufte Celestion "blue". Die Unterschiede zwischen diesen beiden Lautsprechern sind insgesamt größer als die Unterschiede zwischen einem Alnico- und einem Keramik-Lautsprecher!

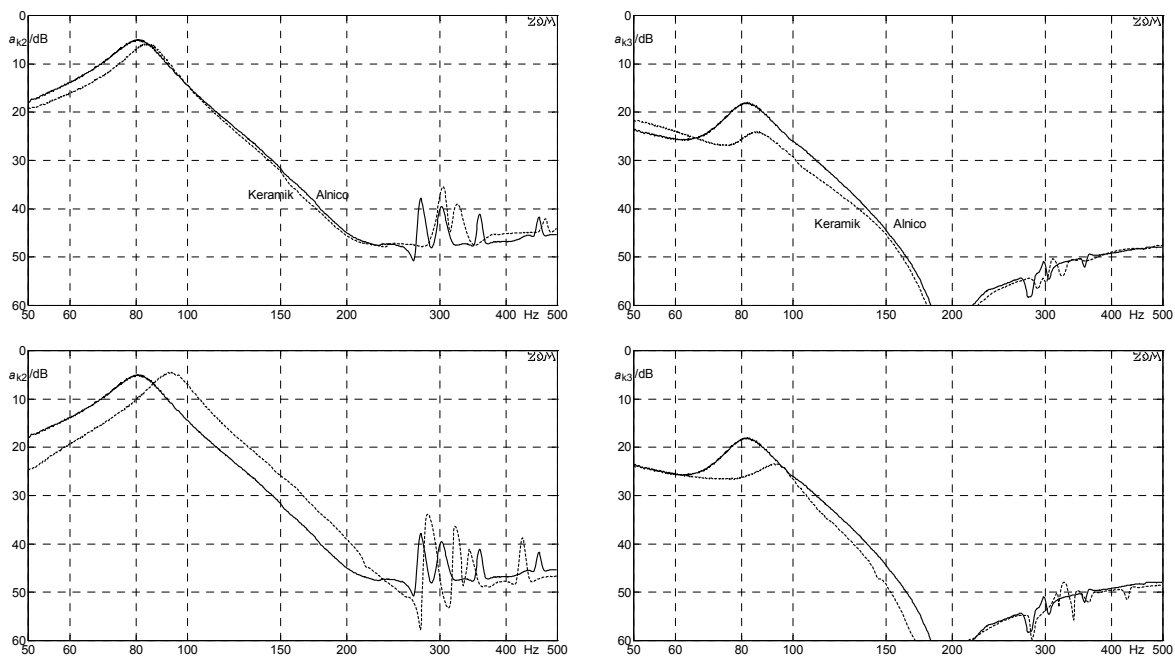


Abb. 11.79: Nichtlineare Verzerrungen des Lautsprecherstroms bei sinusförmiger Spannungseinprägung (10V). Alnico = Celestion "blue", Keramik = Celestion Vintage-30. 2. Bildzeile: Zwei verschiedene Celestion "blue".

Zum Abschluss dieser Messungen sind in **Abb. 11.80** Vergleiche über 4 Alnico-Lautsprecher und 5 Keramik-Lautsprecher dargestellt. Wieder überwiegen die Auswirkungen unterschiedlicher Membranaufhängungen – ein Alnico-Charakteristikum ist nicht zu entdecken.

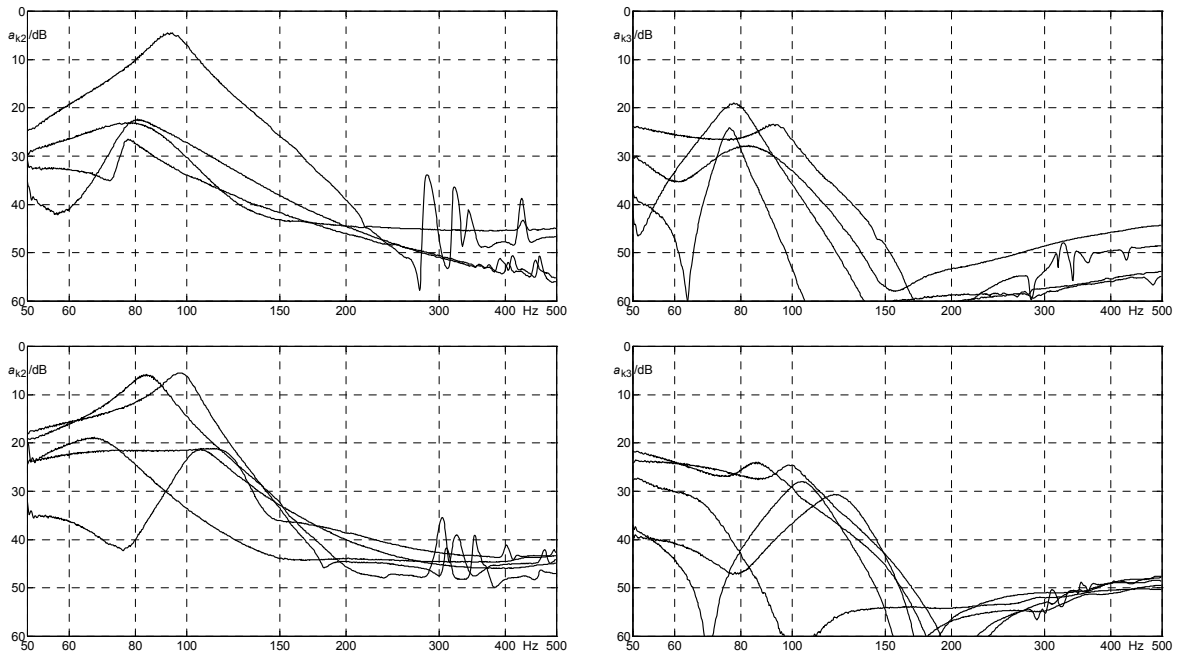


Abb. 11.80: Nichtlineare Verzerrungen des Lautsprecherstroms bei sinusförmiger Spannungseinprägung (10V).

Nach dieser Analyse der elektrischen Zweipolparameter muss natürlich auch der Übertragungsparameter gedacht werden. Der Lautsprecher ist ja nicht nur dazu da, um den Verstärker zu belasten – er soll Schall abstrahlen. Aber auch hier setzt sich der bei den Verzerrungsmessungen gefundene Trend fort (**Abb. 11.81**): Die Unterschiede zwischen typgleichen Alnico-Lautsprechern sind ähnlich wie die zwischen Alnico- und Keramik-Lautsprecher, von einem magnetspezifischen Klang kann keine Rede sein. Das heißt nun nicht, alle Alnico-Lautsprecher seien unnütz. Jensen und Eminence bieten z.B. keine direkte Keramik-Alternative zum P12-N bzw. zum "Legend 122". Wenn man den Klang dieser Legenden möchte, muss man sie kaufen – der C12-N bzw. der "Legend 125" unterscheiden sich um mehr als den Magnet. Anders sieht's bei Celestion aus: Mit dem Vintage-30 steht eine ernstzunehmende Alternative zum Celestion "blue" bereit, die laut Herstellerangaben viermal so hoch belastbar ist, aber trotzdem nur ein Drittel kostet. Oder: Ein zwölftel, wenn man's pro Watt rechnet. Das den Blauen umgebende Vintage-Flair ist aber so attraktiv, dass dagegen kein Kraut gewachsen ist. Und so wird es auch weiterhin treue Anhänger des brillanten (bzw. weichen) und dreckig-verzerrten (bzw. verzerrungsarmen) Alnico-Klanges geben.

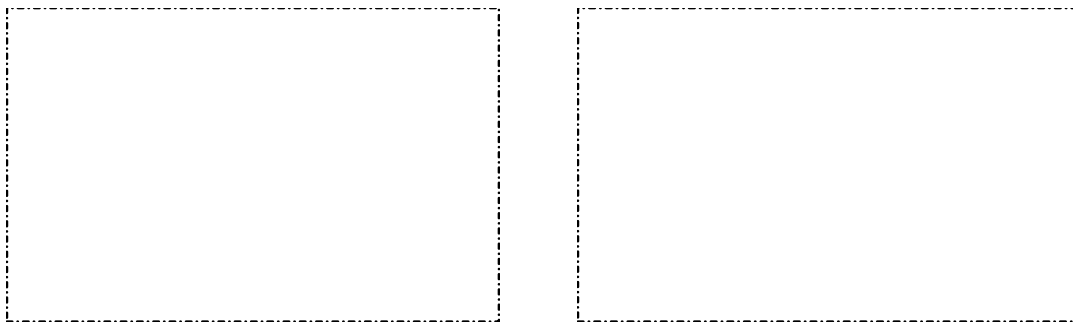


Abb. 11.81: Schallpegelunterschiede zwischen 2 Exemplaren des Celestion "blue", bzw. "blue" vs. Vintage-30. Gemessen im RAR, 1W @ 1m, Lautsprecher in das Gehäuse eines AD60-VT eingebaut.

Diese Abbildungen bleiben der Druckversion vorbehalten